

Arten der Veränderungsfähigkeit in Fabrikssystemen

Risikoabhängige Auswahl der Veränderungsfähigkeitsarten

P. Nyhuis, M. Bleckmann, M. Demir, T. Jahangirkhani, A. Wenzel, M. Schmidt

ZUSAMMENFASSUNG Produzierende Unternehmen müssen sich in der dynamischen VUCA-Welt kontinuierlich anpassen, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Die Arten der Veränderungsfähigkeit Flexibilität, Robustheit, Resilienz und Wandlungsfähigkeit unterstützen Fabrikssysteme dabei. Bisher wurden diese jedoch inkonsistent definiert und angewendet. Daher liefert dieser Beitrag klare Definitionen und integriert die Fähigkeiten in den Risikomanagementprozesse, um eine anwendungsspezifische Auswahl sicherzustellen. Dies erlaubt eine wirtschaftlich effiziente Aktivierung der Veränderungsfähigkeitsarten je nach Risiko und beachtet das Zusammenwirken auf verschiedenen Fabrikebenen.

Risk-dependent selection of changeability types in factory systems

ABSTRACT Manufacturing companies must continuously adapt in the dynamic VUCA world in order to remain competitive. The types of changeability flexibility, robustness, resilience and transformability support factory systems in this. So far, however, these have been defined and applied inconsistently. Therefore, the article provides clear definitions and integrates the capabilities into the risk management processes to ensure an application-specific selection. This enables an economically efficient activation of the change capability types depending on the risk and takes into account the interaction at different factory levels.

STICHWÖRTER

Fabrikplanung, Betriebsmanagement, Management

1 Einleitung

Veränderungen sind konstante Begleiter menschlicher, gesellschaftlicher und industrieller Entwicklungen [1]. Das Umfeld, in dem produzierende Unternehmen agieren, verändert sich rapide, vor allem durch die rasche Globalisierung der Waren- und Informationsströme, angetrieben durch Fortschritte in Logistik, Informatik und Digitalisierung [2]. Das Unternehmensumfeld wird daher heutzutage als VUCA-Welt bezeichnet, da es sich als volatil, unsicher, komplex und ambivalent erweist [3]. Infolgedessen können sich sämtliche für die Produktion relevanten Faktoren wie die Produktstruktur, Absatzzahlen oder verfügbare Ressourcen und Technologien äußerst schnell, kurzzyklisch und zum Teil sprunghaft verändern [2]. Dies stellt Fabriken vor die Herausforderung, sich kontinuierlich an die sich geänderten Rahmenbedingungen anzupassen, um trotz des dynamischen Umfelds unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bestehen zu können.

Die VDI-Richtlinie 5200 definiert die Fabrik als einen „Ort, an dem Wertschöpfung durch arbeitsteilige Produktion industrieller Güter unter Einsatz von Produktionsfaktoren stattfindet“ [4]. Darüber hinaus ist die Fabrik als ein komplexes soziotechnisches System definiert [5]. Dieses System ist zudem diversen Einflüssen von internen und externen Veränderungstreibern ausgesetzt, welche wiederum die konkreten Auswirkungen auf das

Fabrikssystem beschreiben [6-8]. Aufgrund der Unvorhersehbarkeit und der instabilen Natur des Fabrikumfelds gestaltet sich eine präzise Abschätzung von potenziellen Veränderungen, die in der Zukunft erforderlich werden könnten, äußerst schwierig [9, 10]. Fabriken, welche sich nicht verändern können, laufen Gefahr, ihre Wettbewerbsposition und damit ihre Zukunftsfähigkeit zu verlieren [11]. Die Fähigkeit zur Veränderung ist demzufolge ein kritischer Erfolgsfaktor für zukunftsfähige Fabrikssysteme und damit zu einem wichtigen Entscheidungsfeld im Rahmen der Fabrikplanung und des -betriebs geworden.

Auf Grundlage der vorliegenden Literatur können für Fabrikssysteme die folgenden vier Arten der Veränderungsfähigkeit in den Fokus genommen werden: Flexibilität, Robustheit, Resilienz und Wandlungsfähigkeit [12-16]. Aus Sicht der Wissenschaft lässt sich feststellen, dass diese Arten der Veränderungsfähigkeit nicht konsistent definiert sind und oft ohne Bezugnahme zu betrieblichen Risikomanagementprozessen verwendet werden. Es besteht ein Bedarf an klareren Definitionen und Abgrenzungen dieser Begriffe, insbesondere vor dem Hintergrund der zunehmenden Relevanz des Risikomanagements von Fabrikssystemen.

Mit Rückblick auf jüngste, große Störereignisse, wie die Corona-Pandemie, der Ukrainekrieg oder die Suez-Kanal-Blockade, wurde häufig nur reflexartig reagiert [17, 18]. In der produzierenden Industrie herrscht kein ganzheitlicher und strukturierter

Gestaltungsfelder		Technik	Organisation	Raum	Mensch	Führung
Gestaltungsebene						
Ebene IV: Werk		Technische Gebäudeausstattung	Aufbauorganisation	Grundstück	Fähigkeiten Werksleitung	Ziele auf Werksebene
Ebene III: Gebäude		Informationstechnik	Logistikkonzept	Layout	Fähigkeiten Produktionsleitung	Ziele auf Fabrikebene
Ebene II: Bereich		Lagermittel	Arbeitsorganisation	Ausbau	Fähigkeiten Gruppenleitung	Ziele auf Bereichsebene
Ebene I: Arbeitsstation		Produktionsmittel	Qualitätssicherungskonzept	Arbeitsplatzgestaltung	Fähigkeiten Maschinenbediener	Ziele auf Arbeitsstationsebene

Bild 1. Gliederung der Gestaltungsobjekte. Grafik: angelehnt an [2, 9]

Ansatz, mithilfe dessen Unternehmen proaktiven vorgedachte und aufeinander abgestimmte Maßnahmen umsetzen kann. Aus diesem Grund wird in diesem Beitrag ein Ansatz entwickelt und vorgestellt, mit dem die gezielte Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten in Abhängigkeit vom spezifischen Risiko möglich ist. Insbesondere die Berücksichtigung des Zusammenwirkens unterschiedlicher Arten der Veränderungsfähigkeit auf der gleichen oder sogar unterschiedlichen Fabrikebenen liegt im Fokus des zu entwickelnden Ansatzes. Aufgrund der dynamischen Veränderungstreiber ist eine einmalige und statische Interpretation der Veränderungsfähigkeitsarten nicht zielführend, sodass im Ansatz ein iteratives Vorgehen angestrebt wird.

Der Entwicklung eines solchen Ansatzes vorangestellt wurde die folgende forschungsleitende Arbeitshypothese formuliert: „Durch eine qualitative Bewertung produktionsbezogener Risiken auf den Gestaltungsebenen können im Bedarfsfall gezielt maßnahmengestützt unterschiedliche Arten der Veränderungsfähigkeit aktiviert werden.“ Anhand der Arbeitshypothese erfolgt die Herausstellung des Betrachtungsgegenstands sowie das weitere Vorgehen bei der Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes zur gezielten Aktivierung der Veränderungsfähigkeitsarten.

Im nachfolgenden Kapitel wird der wissenschaftliche Kontext und theoretische Rahmen der risikoabhängigen Veränderungsfähigkeit im Fabrikssystem erarbeitet. Dies enthält die Eingrenzung und Beschreibung des Fabriksystems als Betrachtungsgegenstand. Daraufhin werden die Veränderungsfähigkeitsarten definiert und voneinander abgegrenzt. Abschließend wird eine für die Arten der Veränderungsfähigkeiten klare Definition des Risikobegriffs vorgenommen. Im dritten Kapitel wird der daraus resultierende Ansatz der risikobasierten Veränderungsfähigkeit vorgestellt. Dies umfasst die risikoabhängige Unterscheidung zur Aktivierung der jeweiligen Veränderungsfähigkeit in Form eines Risikowürfels sowie die Umsetzung in einem praxisorientierten Regelkreis (Vorgehensmodell). Das fünfte Kapitel fasst die Ergebnisse zusammen und bietet eine kritische Würdigung sowie einen Ausblick auf zukünftige Forschungsaktivitäten.

2 Wissenschaftlicher Kontext und theoretischer Rahmen der risikoabhängigen Veränderungsfähigkeit im Fabrikssystem

2.1 Betrachtungsgegenstand Fabrikssystem

Um den Betrachtungsgegenstand Fabrik zu systematisieren, wird die Fabrik durch eine horizontale und vertikale Gliederung sowie durch definierte Gestaltungsobjekte beschrieben [2].

Die horizontale Gliederung einer Fabrik kann anhand von fünf Gestaltungsfeldern differenziert werden: Technik, Organisation, Raum, Mensch und Führung [9]. Die Technik umfasst alle Betriebsmittel wie Produktions-, Lager- und Transporteinrichtungen sowie die gesamte technische Gebäudeausrüstung und Informationstechnik. Das Gestaltungsfeld Organisation umfasst sowohl die Aufbau- als auch die Ablauforganisation und berücksichtigt beispielsweise Konzepte zur Logistik und Qualitätssicherung. Das Gestaltungsfeld Raum ist eng mit der Architektur der Fabrik verbunden und umfasst Aspekte wie das Grundstück, das Tragwerk und den Ausbau sowie das Layout der Fabrik. Auch der Mensch wird als eigenständiges Gestaltungsfeld betrachtet. Er „belebt“ die Felder Technik, Organisation und Raum durch sein Wissen, seine Fähigkeiten und sein Verhalten und wird darüber hinaus durch Ziele und Strategien aus dem Gestaltungsfeld Führung beeinflusst.[9]

Eine vertikale Gliederung der Fabrik ist über vier Gestaltungsebenen möglich [9]. Diese können für die Fabrik mithilfe des hierarchischen Konzepts der Systemtheorie abgeleitet werden [1]. Eine übergeordnete Ebene umfasst dabei alle untergeordneten Ebenen. Die oberste Ebene des hierarchischen Konzepts bildet das Werk. Auf Werksebene finden zum Beispiel das Grundstück, die Generalbebauung und die infrastrukturelle Anbindung Berücksichtigung. Auf der nächst tieferen Ebene befindet sich die Gebäude, die sich insbesondere durch ihre Struktur, das Layout und Logistikkonzepte auszeichnet. Die Werksebene unterscheidet sich dadurch von der Gestaltungsebene, dass ein Werk mehrere Fabriken umfassen kann. Da zwischen Werks- und Gebäudeebene

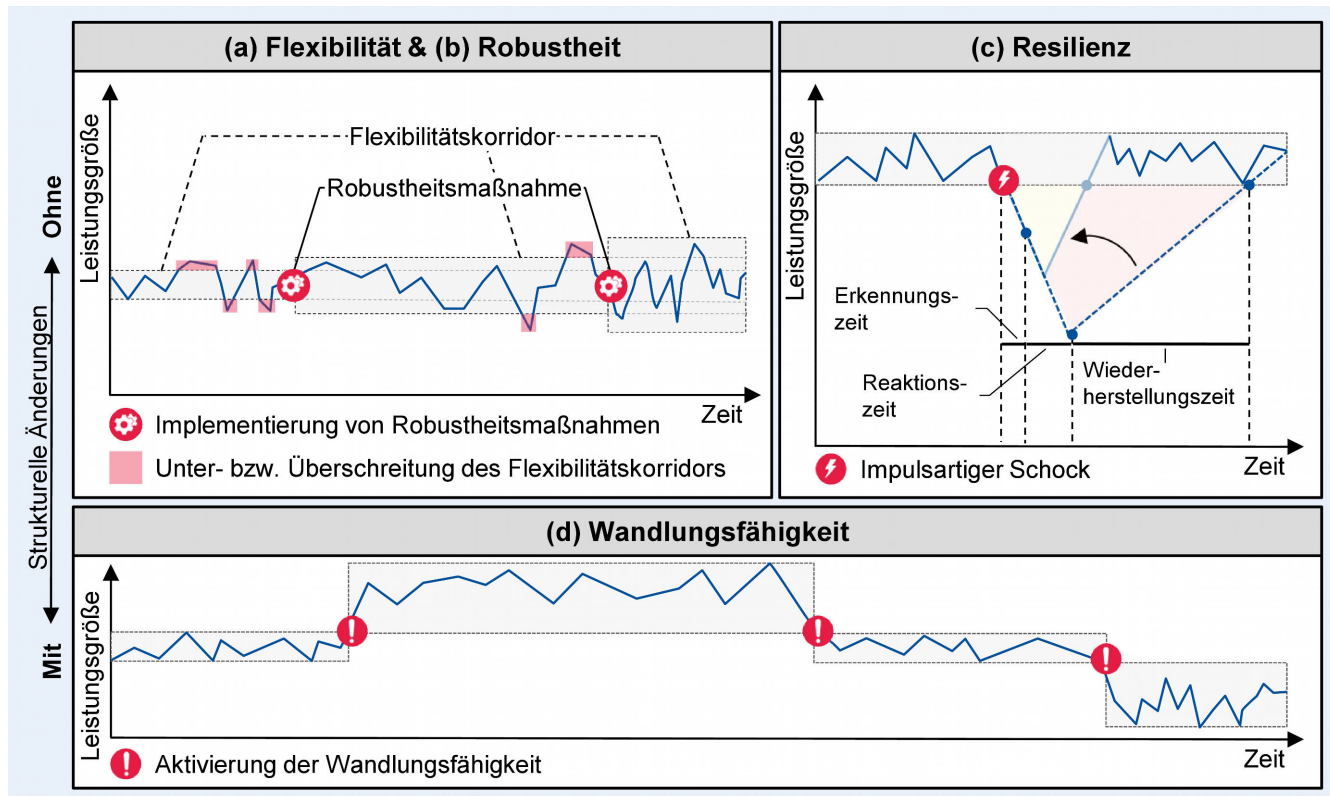


Bild 2. Zusammenhang des Risikobegriffs und der Arten der Veränderungsfähigkeit. Grafik: in Anlehnung an [27]

meistens Beziehungen bestehen, die für die Fabrikplanung eine wichtige Bedeutung besitzen (zum Beispiel zwischen Werks- und Fabriklogistik), muss die Werksebene in die hierarchische Betrachtung aufgenommen werden. Auf der nächsten Gestaltungsebene sind einzelne Bereiche angeordnet. Durch die Bündelung von Produktionseinheiten und den zwischen ihnen stattfindenden Transporten entstehen beispielsweise Fertigungs-, Montage- und Lagerbereiche sowie Verpackungs- und Versandbereiche. Die Arbeitsstation bildet die unterste Ebene, auf der die Wertschöpfungsprozesse ablaufen und umfasst als kleinste Einheit Betriebsmittel und die dafür notwendige Fläche. [19-21]

Durch Gegenüberstellung der Gestaltungsfelder und der Gestaltungsebenen lässt sich eine Matrix für den Bezugsrahmen der Fabrik aufstellen [22, 23]. Den einzelnen Matrixfeldern können Gestaltungsobjekte zugeordnet werden. Die Objekte lassen sich in eine erste und zweite Ordnung untergliedern. Bild 1 zeigt die Matrix mit exemplarischen Gestaltungsobjekten auf erster Ordnung.

Die Arten der Veränderungsfähigkeit können in den unterschiedlichen Gestaltungsebenen und -feldern mit verschiedenen Ausprägungen auftreten. Maßnahmen zur Steigerung der Veränderungsfähigkeit müssen hinsichtlich ihrer Kategorisierung in die verschiedenen Arten (Flexibilität, Wandlungsfähigkeit, Robustheit, Resilienz) stets im Kontext des Gestaltungsobjektes und damit verbunden den möglichen Risiken bewertet werden. Eine Maßnahme zur Steigerung der Veränderungsfähigkeit kann für unterschiedliche Gestaltungsobjekte verschiedene Arten der Veränderungsfähigkeit erfordern. Zur Realisierung wirtschaftlich-effizienter Fabrikabläufe sollte daher die Veränderungsfähigkeit über die unterschiedlichen Felder und Ebenen ineinandergreifen und synergetisch ausgestaltet werden.

2.2 Definition der Arten der Veränderungsfähigkeit

Fabriken müssen in gewissem Maße veränderungsfähig sein, um Risiken zu reduzieren und Chancen zu nutzen [15]. Die Veränderungsfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit einer Fabrik, Veränderungen vorzunehmen, die sowohl die Marktleistung als auch die Geschäftsprozesse betreffen [2]. Im Kontext eines Fabrik-systems lassen sich verschiedene Arten der Veränderungsfähigkeit unterscheiden. Darunter fallen die Flexibilität, Robustheit, Wandlungsfähigkeit und Resilienz [12-16]. Um einen gezielten Umgang mit den Risiken im Fabrik-system zu ermöglichen und die Chancen, die sich aus der Veränderungsfähigkeit ergeben zu nutzen, ist es entscheidend, die verschiedenen Arten der Veränderungsfähigkeit in geeignetem Umfang proaktiv zu implementieren und situationsgerecht zu aktivieren.

Risiken können in Schwankungen von Leistungsgrößen der Produktion resultieren. Leistungsgrößen in einem Fabrik-system sind Indikatoren, die es ermöglichen, Produktionsprozesse messbar zu bewerten. Beispiele hierfür sind die Produktionsmenge oder die Materialverfügbarkeit. Bild 2 stellt schwankende Leistungsgrößen eines Fabrik-systems in Abhängigkeit der Arten der Veränderungsfähigkeit dar und verdeutlicht die grundlegende Wirkung Veränderungs-fähigkeitsarten auf ein Fabrik-system.

In einem dynamischen Marktumfeld ist die (a) Flexibilität eines Fabrik-systems entscheidend. Sie definiert sich als die inhärente Fähigkeit eines Fabrik-systems, seine Leistung ohne strukturelle Veränderungen aufrechtzuerhalten. Dies geht jedoch mit einem Verlust der wirtschaftlichen Optimalität einher. Strukturelle Veränderungen beziehen sich auf grundlegende Veränderungen an den räumlichen, organisatorischen oder technologischen Feldern eines Fabrik-systems, die über gewöhnliche betriebliche An-

passungen hinausgehen. Dies kann die Einführung neuer Produktionslinien oder erhebliche Veränderungen in der Arbeitsorganisation umfassen. Bei der Neuplanung eines Fabriksystems steht die Maximierung der Wirtschaftlichkeit im Vordergrund. Dies grenzt den Spielraum für Flexibilität erheblich ein und führt zu schmalen Flexibilitätskorridoren bei Neuplanungsprojekten. Der Flexibilitätskorridor befähigt Entscheidungsträger im Rahmen des Fabrikbetriebs, flexibel auf Veränderungen oder unvorhergesehene Ereignisse ohne strukturelle Veränderungen innerhalb dieses Rahmens zu reagieren. Eine wiederholte und anhaltende Überschreitung der Grenzen des Flexibilitätskorridors ist ein Anzeichen dafür, dass der bestehende Flexibilitätskorridor unter den gegebenen oder sich verändernden veränderten Rahmenbedingungen nicht mehr ausreicht, um diese Schwankungen abzufangen (vgl. Bild 2). Zur Anpassung des Flexibilitätskorridors sind Robustheitsmaßnahmen geeignet. [12-16] (b) Robustheit umfasst alle Maßnahmen, die den Flexibilitätskorridor im Fabrikbetrieb erweitern. Diese Erweiterung des Flexibilitätskorridors durch Robustheitsmaßnahmen geht dabei zulasten der Wirtschaftlichkeit. Für das Risiko eines Lieferantenausfalls und infolge dessen einer Materialknappheit, die den Flexibilitätskorridor unterschreitet, können proaktiv Robustheitsmaßnahmen getroffen werden. Beispielsweise kann als Maßnahme die Grenze des Sicherheitsbestandes höher als ursprünglich geplant definiert werden. Durch dauerhaft höhere Bestände werden mehr Lagerkapazitäten benötigt und Kapitalbindung erzeugt. Im Gegenzug kann das Fabrikssystem im Falle eines Lieferantenausfalls robust auf die Veränderung reagieren. Ähnlich verhält es sich beim Überschreiten des Flexibilitätskorridors. Wenn zum Beispiel der Produktionsbedarf den Flexibilitätskorridor überschreitet, können zuvor proaktiv getroffene Robustheitsmaßnahmen helfen, auf die Veränderung zu reagieren. Eine Maßnahme kann die Schaffung zusätzlicher, initial nicht benötigter Produktionskapazitäten in Form von Betriebsmitteln sein, um in einem solchen Fall eine höhere Absatzmenge zu realisieren. [12, 13, 15, 16]

(c) Resilienz im Kontext eines Fabriksystems beschreibt die Fähigkeit, unter sich impulsartig veränderten Umgebungsbedingungen (Schocks) die Leistungsfähigkeit ohne strukturelle Veränderungen aufrechtzuerhalten oder sie schnellstmöglich wiederherzustellen, um einen größtmöglichen Schaden zu vermeiden. Diese Fähigkeit wird insbesondere dann relevant, wenn der Leistungseinbruch nicht mehr durch den Flexibilitätskorridor abgedeckt ist. Im Kern setzt die Resilienz auf eine organisatorische Veränderungsfähigkeit, da im Falle einer impulsartigen Störung technologische oder räumliche, strukturelle Veränderungen nicht mehr realisiert werden können. Sollte eine zunächst als impulsartig wahrgenommene Störung länger anhalten, können Maßnahmen zur Steigerung des Flexibilitätskorridors oder der Wandlungsfähigkeit umgesetzt werden. Eine organisatorische Resilienzmaßnahme ist beispielsweise die horizontale Vergabe von Entscheidungsbefugnissen im Krisenfall. Die Zielgrößen der Resilienz sind Erkennungszeit, Reaktionszeit und Wiederherstellungszeit, wobei das Hauptziel darin besteht, im Falle eines Schocks die Lieferfähigkeit schnellstmöglich wiederherzustellen. Sollte die Produktionsmenge durch einen unerwarteten Schock, wie etwa einem Cyberangriff und infolge dessen eines Ausfalls der Informationstechnischen Systeme beeinträchtigt werden, muss ein resilientes Fabrikssystem in der Lage sein, schnellstmöglich zum ursprünglichen Produktionsniveau zurückzukehren. Hierfür sind geeignete

Resilienzmaßnahmen erforderlich, wie zum Beispiel die Entwicklung von Notfallplänen und die horizontale Vergabe von Verantwortlichkeiten innerhalb der Organisation im Krisenfall. [12, 13, 15, 16]

Der Begriff der (d) Wandlungsfähigkeit bezeichnet die Fähigkeit einer Fabrik, auf interne oder externe Auslöser hin aktiv strukturelle Veränderungen, die vorgedacht und unterstützend vorbereitet sind, auf allen Ebenen der Fabrik mit geringem Aufwand durchzuführen. Mit der Wandlungsfähigkeit wird das Fabrikssystem befähigt, sein Leistungsniveau zu verändern. Diese Fähigkeit findet Anwendung sowohl bei der langfristigen Erhöhung als auch Reduzierung der geforderten Leistungsfähigkeit. Beispielsweise kann eine Änderung des Produktionsprogramms durch die Einführung eines neuen Produkts zur Beschaffung neuer Produktionstechnologien führen, wodurch eine strukturelle Veränderung notwendig ist [2]. Durch den proaktiven Einsatz von Medienrastern, breiten Stützenrastern und der Modularisierung von Funktionseinheiten kann ein Fabrikssystem bei Bedarf schnell strukturell verändert werden. [12-16]

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Arten der Veränderungsfähigkeit Fabrikssysteme dazu befähigen, im Falle eines eingetretenen Risikos handlungsfähig zu bleiben und ihre Leistungsgrößen zu erhalten oder anzupassen. Wie in Abschnitt 2.1 beschrieben, können die verschiedenen Arten der Veränderungsfähigkeit auf unterschiedlichen Gestaltungsebenen und -feldern mit unterschiedlichen Maßnahmen realisiert werden. Betroffene Maßnahmen müssen daher stets im Kontext des jeweiligen Gestaltungsobjekts betrachtet werden. Zum Beispiel fördert die Maßnahme, mobile Betriebsmittel mit Rollen anzuschaffen, für das Gestaltungsobjekt Produktionsmittel (Ebene: Arbeitsstation; Feld: Technik) die Flexibilität im betrieblichen Einsatz. Gleichzeitig steigert diese Maßnahme die Wandlungsfähigkeit des Objektes Layout (Ebene: Fabrik; Feld: Raum), da eine strukturelle Änderung des Layouts durch eine verhältnismäßig aufwandarme Umstellung durchgeführt werden kann. Um ein Fabrikssystem wirtschaftlich sinnvoll zu gestalten, sollten die verschiedenen Arten daher über alle Felder und Ebenen hinweg betrachtet werden.

2.3 Risiko im Kontext der Veränderungsfähigkeit

In einem soziotechnischen System wie einer Fabrik sind Störungen und die damit verbundenen Unsicherheiten über zukünftige Entwicklungen unvermeidlich, sodass Risiken in Produktionsprozessen allgegenwärtig sind [24]. Ausgangspunkt der Risiken sind dabei meist externe oder interne Veränderungstreiber (zum Beispiel Marktvolatilität, Cyber-Vorfälle, (Handels-) Kriege) [2]. Grundlegend ist ein Risiko die aus der Unvorhersehbarkeit der Zukunft resultierende, durch Störungen verursachte Möglichkeit, geplante Ziele oder einen gewünschten Systemzustand zu verfehlen. Dementsprechend sind Risiken immer nur in direktem Zusammenhang mit der Gestaltung und Planung eines Fabriksystems zu analysieren und zu interpretieren. Dies bedeutet auch, dass Unternehmen, die keine Strategie beziehungsweise strategischen Ziele für ihre Produktion definiert haben, Zielabweichungen auch nicht messen und damit bewerten können. Somit kann nicht identifiziert werden, welche Maßnahmen ergriffen und welche Veränderungsfähigkeitsarten überhaupt aktiviert werden sollen und betriebswirtschaftlich sinnvoll sind. [25] Darüber hinaus kann ein Risiko grundsätzlich als wertneutral

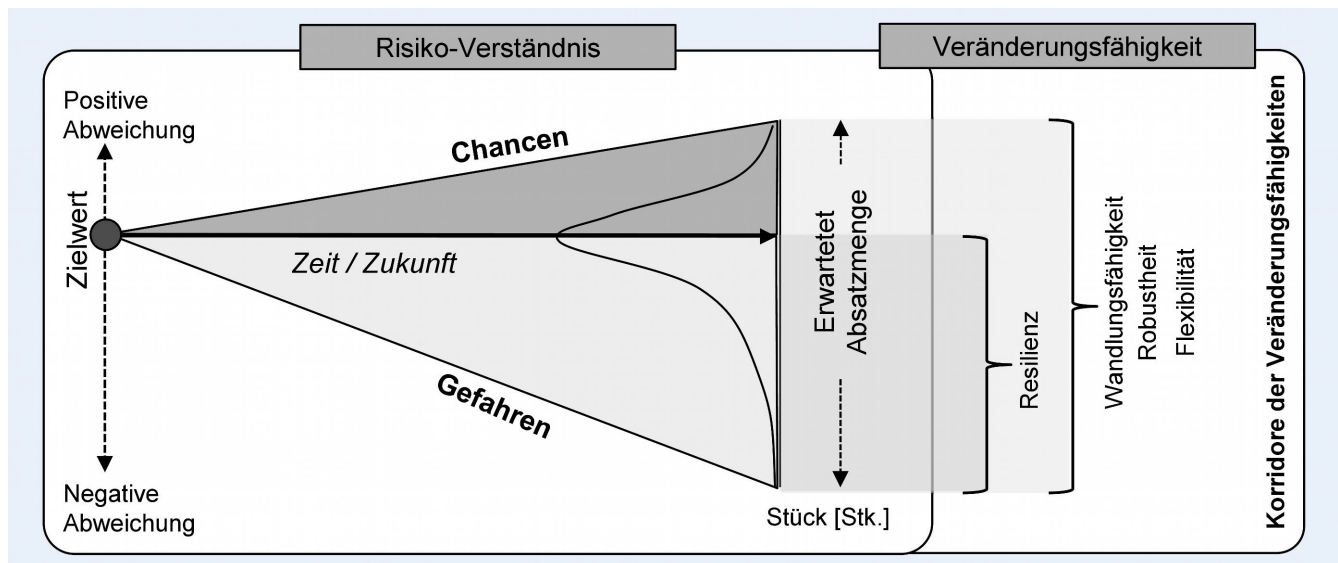


Bild 3. Arten der Veränderungsfähigkeit. Grafik: eigene Darstellung in Anlehnung an [16]

betrachtet werden, sodass Abweichungen von einem erwarteten Ergebnis sowohl negativ im Sinne von Verlustmöglichkeiten (Gefahr) als auch positiv im Sinne von Gewinnmöglichkeiten (Chance) sein können. Dies wird auch als „Risiko im weiteren Sinne“ verstanden. [26] Risiken können somit als „Streuung“ um einen Erwartungs- oder Zielwert interpretiert werden [27].

Dabei gilt es zu beachten, dass insbesondere bei produktionslogistischen Kennzahlen zwei Logiken existieren: Zum einen gibt es Kennzahlen, bei denen eine negative Abweichung vom Zielwert eine potenzielle Gefahr bedeuten (zum Beispiel OEE) und zum anderen gibt es Kennzahlen, bei denen eine positive Abweichung vom Zielwert eine Gefahr bedeuten (zum Beispiel Materialkosten). Bild 3 verdeutlicht diese Zusammenhänge anhand eines fiktiven Beispiels basierend auf der Kennzahl „Absatzmenge“ und gibt einen ersten Einblick in die Verortung der Arten der Veränderungsfähigkeit Resilienz, Wandlungsfähigkeit, Robustheit und Flexibilität [12-16] gemessen an der Risikoausprägung.

Diese Zusammenhänge sind eine wichtige Grundlage zur Bewertung und Aktivierung der geeigneten Arten der Veränderungsfähigkeit eines Fabriksystems, um Risiken wirtschaftlich effizient zu begegnen [16]. Dabei ist eine Differenzierung von Risiken hinsichtlich externer oder interner Auslöseereignisse durchzuführen. So kann etwa ein Beschaffungsrisiko einerseits auf Schwierigkeiten im Beschaffungsprozess zurückgeführt werden (internes Ereignis). Das Risiko kann aber auch bestehen, weil durch ein externes Schadensereignis (Erdbeben, Überschwemmung etc.) bestimmte Produkte auf dem Weltmarkt nicht mehr oder nur zu höheren Preisen verfügbar sind. [25] Wenn eine anwendungsfallspezifische, bestmögliche Positionierung im Spannungsfeld zwischen Risikobeherrschung und wirtschaftlichem Fabrikbetrieb nicht gelingt, ist kurzfristig die Produktionsleistung und mittel- bis langfristig der Fortbestand der Wettbewerbsfähigkeit bedroht [28]. Die Analyse von Risiken erfolgt in der Regel mit Hilfe standardisierter Prozesse, die den Ablauf beziehungsweise den organisierten Umgang mit Risiken beschreiben, mit dem Ziel Veränderungstreiber zu identifizieren und daraus resultierende Risiken auf ein für das Unternehmen adäquate und erträgliche Maß auszurichten. [29, 30]

3 Entwicklung eines Vorgehensmodells

Im folgenden Kapitel wird ein Vorgehensmodell zur risikoorientierten Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten Flexibilität, Robustheit, Resilienz und Wandlungsfähigkeit entwickelt. Dazu wird im ersten Schritt mithilfe eines Risikowürfels der optimale, risikoorientierte Anwendungsbereich der Arten der Veränderungsfähigkeit beschrieben. Anschließend wird der Risiko-Regelkreis der Veränderungsfähigkeit vorgestellt. Dieser dient der Operationalisierung der Veränderungsfähigkeitsarten für anwendende Unternehmen.

3.1 Risikoorientierte Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten

Die Arten der Veränderungsfähigkeit können Unternehmen bei der Bewältigung von Risiken unterstützen. Es ist jedoch nicht zwangsläufig eindeutig, welche Veränderungsfähigkeitsart für welchen Grad des Risikos in welchem Risiko-Fall angewendet werden sollte, da prinzipiell jede Art der Veränderungsfähigkeit für ein gewisses Risiko wirksam sein kann. Die ideale Auswahl hängt von der Eintrittswahrscheinlichkeit, der Intensität und der Dauer der Auswirkungen eines Risikoereignisses ab. Eine gezielte Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten kann abhängig von den individuellen Störungseigenschaften eines Risikos zu einem optimierten Ergebnis führen. Bild 4 veranschaulicht die Anwendungsbereiche der Wandlungsfähigkeit, Flexibilität, Robustheit und Resilienz im Kontext der verschiedenen Risikoeigenschaften in einem Fabrik- beziehungsweise Produktionssystem.

Flexibilität beziehungsweise Robustheit findet Anwendung bei Risiken mit kürzerer Wirkungsdauer und mittlerer bis hoher Eintrittswahrscheinlichkeit. Darüber hinaus kann die Fähigkeit zur Flexibilität beziehungsweise Robustheit auf Risiken angewendet werden, dessen Auswirkung längerfristig wirken, eine mittlere bis hohe Eintrittswahrscheinlichkeit und eine geringe bis mittlere Auswirkungsintensität aufweisen. Risiken, die eine geringe Eintrittswahrscheinlichkeit, aber eine mittlere bis hohe Auswirkungsintensität haben, impulsartig auftreten und eine kurze Dauer haben, sollte mit der Fähigkeit der Resilienz begegnet werden.

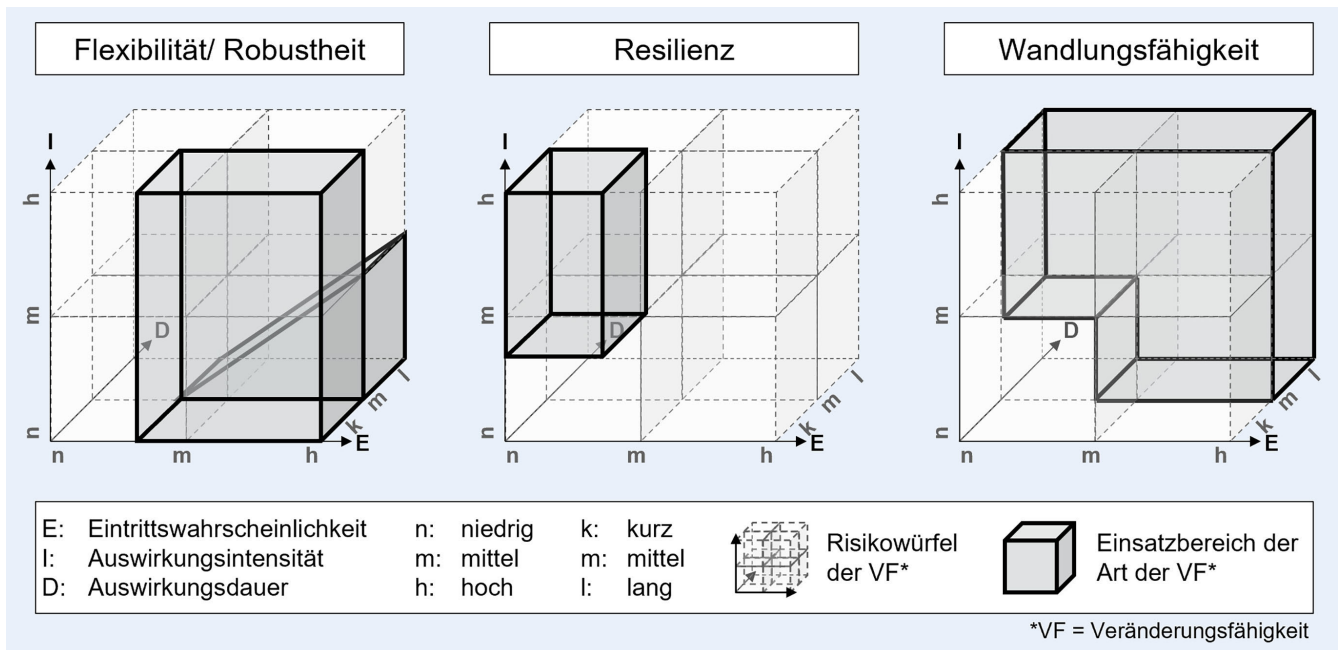


Bild 4. Risikowürfel der Veränderungsfähigkeit. Grafik: eigene Darstellung

Risiken mit geringer Eintrittswahrscheinlichkeit und geringer Auswirkungsintensität sind in der Regel zu akzeptieren. Der Grund dafür ist, dass eine Gefährdung nur unter sehr speziellen Bedingungen zu einem Schaden führen kann oder der Aufwand für mögliche Schutzmaßnahmen unangemessen hoch ist. Die Risikoakzeptanz gilt dabei sowohl für Risiken mit kürzerer als auch mit längerer Wirkungsdauer. Die Wandlungsfähigkeit gilt für Risiken, die eine rasche strukturelle Veränderung erfordern und somit eine längere Wirkungsdauer haben. Es gibt also eine Schnittmenge zwischen den Anwendungsbereichen der Wandlungsfähigkeit, der Flexibilität und der Robustheit. Das bedeutet, dass es Risiken gibt, die sowohl durch die Fähigkeiten der Wandlungsfähigkeit als auch der Flexibilität oder Robustheit bewältigt werden können, was den Auswahlprozess der geeigneten Handlungsstrategie erweitert. [12, 15, 16]

Die dargestellten Anwendungsbereiche unterstützen den Anwender dabei, nach der Identifikation und Bewertung von Risikoreignissen die geeignete Art der Veränderungsfähigkeit zu identifizieren und somit zielgerichtet Maßnahmen umzusetzen. Die Skalierung der Achsen sollte im Anwendungsfall individuell quantifiziert werden.

3.2 Regelkreis der Veränderungsfähigkeit

Zur Operationalisierung der Veränderungsfähigkeitsarten Flexibilität und Wandlungsfähigkeit wurden von verschiedenen Autoren Regelkreise entwickelt [16]. Diese unterstützen Unternehmen bei der Identifikation von Veränderungsbedarfen, resultierend aus Veränderungstreibern und darauf aufbauend bei der Ableitung von Handlungsempfehlungen für eine Reaktion auf die jeweiligen Treiber und die damit verbundenen möglichen Risiken [31]. Bisherige Regelkreise fokussieren jedoch die Integration der Arten der Veränderungsfähigkeit in den klassischen Ablauf der Fabrikplanung und vernachlässigen die Verzahnung des Risikomanagements mit der Veränderungsfähigkeit eines Fabriksystems. Ein fehlendes, einheitliches Verständnis von Risiken in der

Fabrikplanung und dem -betrieb gilt in der heutigen Zeit jedoch immer noch als großes Hindernis bei der Integration eines durchgehenden Risikomanagementprozesses [25].

Planungsverantwortliche Personen von komplexen Fabrikssystemen benötigen ein iteratives Vorgehen zur Entscheidungsfindung und zur gezielten Bewertung von externen und internen Risiken unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Ausgestaltung der Veränderungsfähigkeitsarten. Um diesen Zielzustand zu erreichen, wurde der risikoorientierte Regelkreis der Veränderungsfähigkeitsarten als Vorgehensmodell entwickelt. Dieses enthält einen geschlossenen Prozess der Identifizierung, Analyse, Bewertung, Behandlung und Kontrolle von Risiken unter Berücksichtigung logistischer und technischer Systemeigenschaften der einzelnen Gestaltungsobjekte, die die Fabrikleistung und -kosten beeinflussen. Durch die Integration des Risikowürfels der Veränderungsfähigkeit (vgl. Kapitel 3.2) wird die gezielte Auswahl einer geeigneten Art der Veränderungsfähigkeit (VF) unterstützt. Somit können proaktiv geeignete Maßnahmen zum Umgang der betrachteten Risiken und Steigerung der Wirtschaftlichkeit für die unterschiedlichen Gestaltungsobjekte identifiziert werden. Um die Praxistauglichkeit zu gewährleisten, orientiert sich der Regelkreis an dem weitverbreitetem Standard für den Risikomanagementprozess gemäß DIN ISO 31000 [32]. Bezüglich des Prozesses liegen in der Literatur unterschiedliche Abbildungen und Beschreibungen vor, wobei sich die Grundidee in allen vorzufindenden Versionen nahezu nicht unterscheidet. Der Prozess ist als ein in sich geschlossener Kreislauf zu betrachten, da Risiken kontinuierlich identifiziert, bewertet, gesteuert und überwacht werden müssen [33]. Bild 5 zeigt den unter dieser Prämisse entwickelten risikoorientierten Regelkreis der Veränderungsfähigkeit.

In der Phase „Festlegung des Rahmens“ wird die Ausrichtung an die Unternehmensziele und damit verbunden an die Risikostrategie des Unternehmens forciert [26]. Als Grundlage für die Berücksichtigung der Veränderungsfähigkeitsarten ist hier bereits eine Verortung der Ziele auf die einzelnen Ebenen der Fabrik

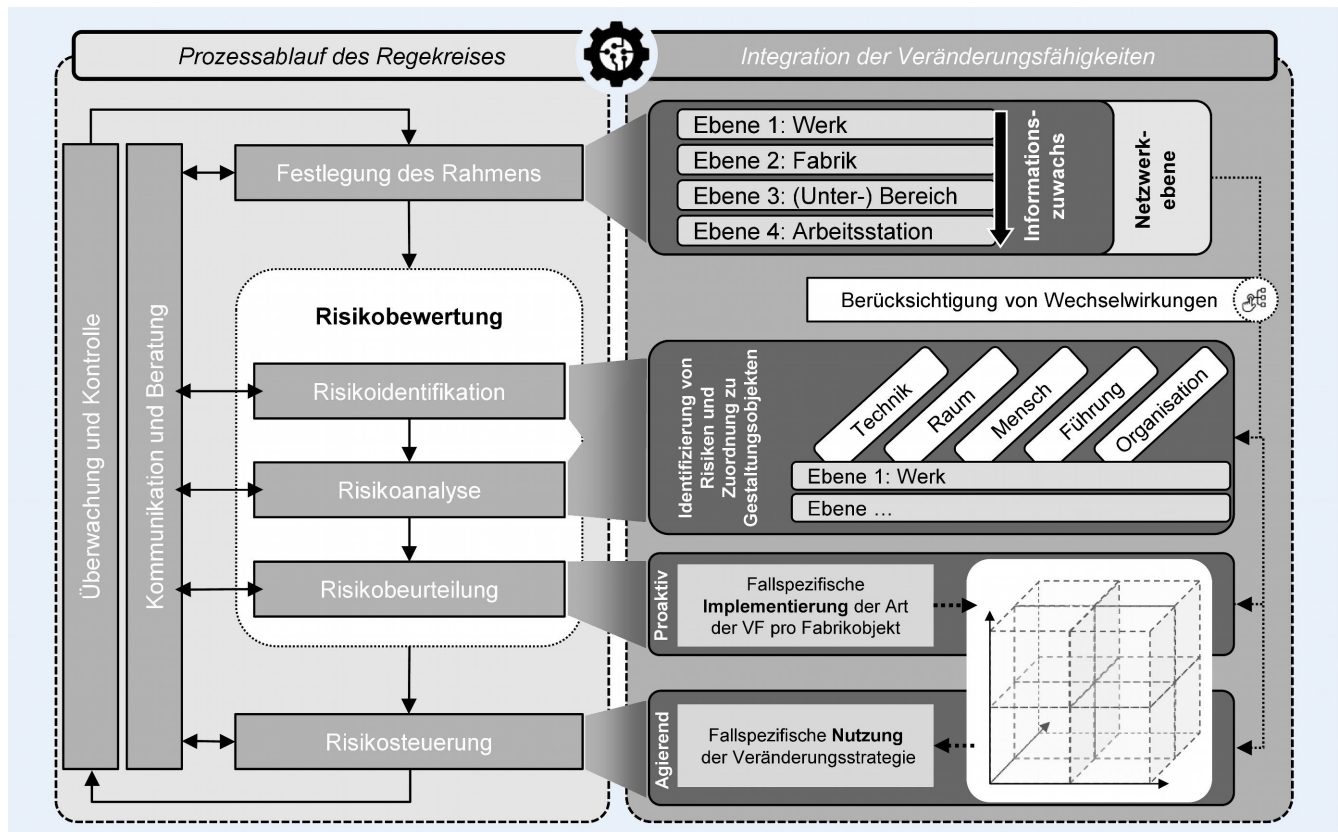


Bild 5. Risiko-Regelkreis der Veränderungsfähigkeitsarten. Grafik: eigene Darstellung

durchzuführen. Ein wichtiger Aspekt dabei ist die detaillierte Aufschlüsselung beziehungsweise Übertragung der Unternehmensziele (zum Beispiel kurze Lieferzeiten) auf entsprechende Handlungsprämissen in den untergeordneten Gestaltungsebenen. Dies kann durch eine durchgängige Controlling Governance gestützt werden [34]. Dabei entstehende Wechselwirkungen oder Zielkonflikte müssen dokumentiert und im Anschluss für die Phasen der Risikoidentifikation und -analyse bereitgestellt werden. In diesen beiden Phasen werden nun bereits bekannte Risiken aus Vergangenheitswerten sowie potenziell neu auftretende Störungen den einzelnen Gestaltungsebenen über die Gestaltungsobjekte zugeordnet. Hierdurch soll ein besseres Verständnis für die Ursache eines Risikos hervorgerufen werden [30].

Identifizierte und analysierte Risiken werden sowohl quantitativ als auch qualitativ beurteilt werden, um im Nachgang geeignete beziehungsweise wirtschaftlich-effiziente Risikosteuerungsmaßnahmen abzuleiten. Hierbei werden die Risiken gemäß des Risikowürfels der Veränderungsfähigkeit hinsichtlich ihrer Auswirkungsintensität, ihrer Eintrittswahrscheinlichkeit und ihrer Auswirkungsdauer geclustert (vgl. Bild 4). Das abschließende Ziel der Risikobewertungsphasen ist die Erstellung eines Risikoinventars, um die zuvor identifizierten Risiken in Abhängigkeit der Potenziale der Veränderungsfähigkeit zu strukturieren und um proaktiv fallspezifische Maßnahmen zur Implementierung der den Risiken entgegenwirkenden Art der Veränderungsfähigkeit zu implementieren. Der entwickelte Risiko-Würfel bildet somit eine Schnittstelle zwischen der Bewertungs- und Steuerungsphase, da entsprechend der Risikostrategie des Unternehmens und auf Basis der wirtschaftlichen Bewertung zur Implementierung der einzelnen Veränderungsfähigkeitsarten festgelegt wird, ob die entspre-

chenden Risiken vermieden, minimiert, transferiert oder akzeptiert werden.

4 Zusammenfassung, kritische Würdigung und Ausblick

Unternehmen sind kontinuierlich internen und externen Veränderungstreibern ausgesetzt. Die daraus resultierenden Unsicherheiten stellen eine unvermeidliche Herausforderung dar, die Unternehmen zur ständigen Veränderung zwingt. Fabrikssysteme müssen daher kontinuierlich angepasst werden, um wettbewerbsfähig bleiben zu können, indem sie sich veränderungsfähig gegenüber externen und internen Veränderungstreibern aufstellen. Die vier Arten der Veränderungsfähigkeit, mit denen das Gelingen kann, sind die Flexibilität, Wandlungsfähigkeit, Robustheit und Resilienz.

Im Rahmen der Darstellung des wissenschaftlichen Kontextes sowie der theoretischen Grundlagen wurde der Betrachtungsgegenstand des Fabriksystems genauer definiert sowie der Begriff des Risikos im Kontext der Veränderungsfähigkeit beschrieben. Die Notwendigkeit eines ganzheitlichen Ansatzes zur zielorientierten Anwendung der Arten der Veränderungsfähigkeit in Abhängigkeit des vorliegenden Risikos konnte daraus abgeleitet werden.

Im ersten Schritt wurden dazu die Arten der Veränderungsfähigkeit präzise und ganzheitlich definiert. Anschließend wurde im Rahmen eines Risikowürfels die risikoorientierte Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten beschrieben. Das Ziel des Risikowürfels ist es, durch qualitative Bewertung von produktionsbezo-

genen Risiken die verschiedenen Arten der Veränderungsfähigkeit gezielt einzusetzen.

Zur Entwicklung eines ganzheitlichen Ansatzes wurde abschließend ein iterativer Regelkreis der Veränderungsfähigkeit beschrieben. Der Regelkreis basiert auf etablierten Risikomanagementstandards und umfasst die Phasen Identifikation, Analyse, Bewertung, Steuerung und Kontrolle von Risiken. Das Ziel ist es, produzierende Unternehmen dabei zu unterstützen, eine systematisch und proaktiv geeignete Maßnahmen im Kontext der Veränderungsfähigkeitsarten zu identifizieren.

Zusammenfassend konnte ein allgemeingültiges Ergebnis auf Basis der aufgezeigten Bedarfe erzielt werden, welches teilweise anhand von Beispielen spezifiziert wurde. Eine ganzheitliche Validierung des entwickelten Ansatzes für die unterschiedlichen Gestaltungsobjekte, die sich in den Gestaltungsebenen und Gestaltungsfeldern unterscheiden, wurde bislang nicht durchgeführt. Für die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Produktionsunternehmen bei Anwendung der Veränderungsfähigkeitsarten ist ein Vergleich unterschiedlicher Unternehmensstrukturen notwendig, um eine einheitliche Grundlage für die Entscheidungsfindung im Rahmen des Risikowürfels der Veränderungsfähigkeit zu bieten. Die Modellierung der Wirkungsweise von Veränderungsfähigkeitsarten ist derzeit auf Leistungsgrößen beschränkt und nicht ohne weitere Spezifikationen auf Kostengrößen übertragbar (Abschnitt 2.2). Der Proof of Concept sowie die industrielle Praxistauglichkeit des Risikowürfels der Veränderungsfähigkeit stehen somit noch aus. Zudem erfordert eine umfassende Betrachtung bei der Auswahl der geeigneten Strategie im Rahmen der risikobasierten Veränderungsfähigkeit eine monetäre Bewertung der Veränderungsmaßnahmen, die eine Abschätzung der damit verbundenen Aufwände voraussetzt. Der bisherige Ansatz berücksichtigt jedoch weder die erforderlichen Aufwände noch die geplante Wirksamkeit, mit der die jeweilige Veränderungsfähigkeitsart genutzt werden soll. Der Fokus des entwickelten Vorgehensmodells liegt auf einer ingenieurwissenschaftlichen Betrachtung von Veränderungen, die die Eigenschaften der Mitarbeitenden in Form von Motivation und Veränderungsbereitschaft als sozialpsychologische Effekte nicht berücksichtigt. Es besteht daher ein erhebliches Entwicklungspotenzial, wenn sozialpsychologische Ansätze (zum Beispiel Change Management) mit ingenieurwissenschaftlichen Strukturmodellen verknüpft werden.

Weitere Forschungsaktivitäten können sich unter anderem mit der Validierung des entwickelten Ansatzes auf den verschiedenen Gestaltungsebenen befassen. Dazu können praxisorientierte Fallstudien mit Anwendungspartnern durchgeführt werden. Zudem sollte der Regelkreis um eine monetäre Bewertung der Maßnahmen der Veränderungsfähigkeit ergänzt werden, um eine industrielle Praxisfähigkeit zu gewährleisten.

Literatur

- [1] Hernández Morales, R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI Verlag 2003
- [2] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.: Handbuch Fabrikplanung. Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten. München: Hanser 2024
- [3] Bennett, N.; Lemoine, G. J.: What a difference a word makes: Understanding threats to performance in a VUCA world. *Business Horizons* 57 (2014) 3, S. 311–317
- [4] VDI: 5200 Blatt 1. Fabrikplanung Planungsvorgehen. Berlin: Beuth Verlag Februar 2011
- [5] Westkämper, E.: 13.1 Die Produktion als mehrskaliges, dynamisches, sozio-technisches System. *Digitale Produktion* (2013)
- [6] Klemke, T.; Mersmann, T.; Wagner, C. et al.: Bewertung und Gestaltung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen. *ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* 106 (2011) 12, S. 922–927
- [7] Abele, E.; Reinhart, G.: Zukunft der Produktion. Herausforderungen, Forschungsfelder, Chancen. München: Hanser Verlag 2011
- [8] Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H. et al. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München: Hanser, Carl 2013
- [9] Heger, C. L.: Bewertung der Wandlungsfähigkeit von Fabrikobjekten. Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum 2007
- [10] Lanza, G.; Nyhuis, P.; Fisel, J. et al.: Wandlungsfähige, menschenzentrierte Strukturen in Fabriken und Netzwerken der Industrie 4.0. *acatech-Deutsche Akademie der Technikwissenschaften* 2018
- [11] Jahangirkhani, T.; Wecken, L.; Wulf, S. et al.: Zukunftsfähigkeit von KMU in der VUCA-Welt/Future viability of SMEs in the VUCA world. *wt Werkstattstechnik online* 114 (2024) 06, S. 292–297
- [12] Hingst, L.; Wecken, L.; Brunotte, E. et al.: Einordnung der Robustheit und Resilienz in die Veränderungsfähigkeit (2022)
- [13] Wiendahl, H.-P.; ElMaraghy, H. A.; Nyhuis, P. et al.: Changeable Manufacturing - Classification, Design and Operation. *CIRP Annals* 56 (2007) 2, S. 783–809
- [14] Westkämper, E.; Zahn, E.; Balve, P. et al.: Ansätze zur Wandlungsfähigkeit von Produktionsunternehmen. *wt Werkstattstechnik online* 90 (2000) 1-2, S. 22–26
- [15] Hingst, L.; Park, Y.-B.; Nyhuis, P.: Life Cycle Oriented Planning Of Changeability In Factory Planning Under Uncertainty. Hannover : publish-Ing 2021
- [16] Hingst, L.: Lebenszyklusorientierte Planung der Veränderungsfähigkeit in Fabriken. Garbsen: TEWISS - Technik und Wissen GmbH 2024
- [17] Krauss, S.; Plugmann, P.: Innovationen in der Wirtschaft: Trends in Industrie, Bildung und Gesundheit. Wiesbaden: Springer 2022
- [18] Kleemann, F. C.: RESILIENTE LIEFERKETTEN IN DER VUCA-WELT. Supply chain management fr corona, brexit & co. [S.l.]: Gabler 2021
- [19] Eversheim, W.; Neuhausen, J.: Modular Plant Architecture. *wt Werkstattstechnik online* 91 (2001) 10, S. 654–660
- [20] Fiebig, C.: Synchronisation von Fabrik- und Technologieplanung. Düsseldorf: VDI-Verl. 2004
- [21] Harms, T.: Agentenbasierte Fabrikstrukturplanung. Garbsen: PZH, Produktionstechn. Zentrum 2004
- [22] Nyhuis, P.; Kolakowski, M.; Heger, C. L.: Evaluation of Factory Transformability. In: Tagungsband 3rd International CIRP Conference, University of Michigan, Ann Arbor, USA, 11.05.2005
- [23] Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H. et al.: Planung modularer Fabriken. In: Wiendahl, H.-P.; Nofen, D.; Klußmann, J. H. et al. (Hrsg.): Planung modularer Fabriken. Vorgehen und Beispiele aus der Praxis. München, Wien: Hanser 2005, S. I–XIV
- [24] Ivanov, D.: Einführung in die Widerstandsfähigkeit der Lieferkette. Management, Modellierung, Technologie. Cham: Springer International Publishing; Imprint Springer Gabler 2023
- [25] Huth, M.; Romeike, F.: Risikomanagement in der Logistik. Konzepte – Instrumente – Anwendungsbeispiele. Wiesbaden: Springer Gabler 2016

- [26] Vanini, U.; Rieg, R.: Risikomanagement. Grundlagen - Instrumente - Unternehmenspraxis. Freiburg: Schäffer-Poeschel Verlag für Wirtschaft Steuern Recht GmbH 2021
- [27] Gleißner, W.; Romeike, F.: Risikomanagement: Umsetzung, Werkzeuge, Risikobewertung. Freiburg im Breisgau: Haufe Verlag 2005
- [28] Galaske, N.; Anderl, R.: Disruption Management for Resilient Processes in Cyber-physical Production Systems. 2212-8271 50 (2016), S. 442–447
- [29] Vahrenkamp, R.; Amann, M. (Hrsg.): Risikomanagement in Supply Chains. Gefahren abwehren, Chancen nutzen, Erfolg generieren. Berlin: E.Schmidt 2007
- [30] Romeike, F.; Stallinger, M.: Stochastische Szenariosimulation in der Unternehmenspraxis: Risikomodellierung, Fallstudien, Umsetzung in R. Wiesbaden: Springer 2021
- [31] Klemke, T.: Planung der systemischen Wandlungsfähigkeit von Fabriken. Garbsen: TEWISS - Technik und Wissen GmbH 2014
- [32] DIN: ISO 31000:2018-10, Risikomanagement-Leitlinien (ISO_31000:2018). Berlin: DIN Media GmbH
- [33] Hahn, D.: Risiko-Management in Kommunen. Handlungsorientierter Leitfaden für die kommunale Praxis. Wiesbaden, Heidelberg: Springer Gabler 2020
- [34] Demke, T. M.; Mütze, A.; Nyhuis, P.: Production Controlling Governance to Ensure Homogenous Information Systems and Targeted Decision-Making Processes. Smart, Sustainable Manufacturing in an Ever-Changing World (2023), pp. 97–108




Prof. Dr.-Ing. habil.

Peter Nyhuis 

Foto: Christian Wyrwa

nyhuis@ifa.uni-hannover.de


Tel. +49 511 762 3390

Marco Bleckmann, M. Sc. 

Mehmet Demir, M. Sc. 

Tanya Jahangirkhani, M. Sc. 

Alexander Wenzel, M. Sc. 

Prof. Dr.-Ing. habil. Matthias Schmidt 

Institut für Fabrikanlagen und Logistik (IFA)

Leibniz Universität Hannover

An der Universität 2, 30823 Garbsen

www.ifa.uni-hannover.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)